图书情报工作
第 64 卷 第 17 期 2020 年 9 月

数字孪生技术及其在图书馆中的应用研究*
——以雄安新区图书馆建设为例

■ 张兴旺 王璐
桂林理工大学旅游与风景园林学院 桂林 541004

摘 要：[目的/意义]数字孪生有助于推进图书馆的物理信息深度融合，实现其物理实体及其数字孪生模型之间“虚实映射、以虚控实、协调交互”。[方法/过程]在对数字孪生研究现状进行分析的基础上，提出数字孪生图书馆的概念与模型，对其理论内涵、典型特征进行分析，结合其技术特征与应用情境，提出相应的技术框架、运行机理和对策建议，以期为未来图书馆建设与发展提供参考借鉴。[结果/结论]数字孪生图书馆主要包括图书馆物理实体、数字孪生模型、数字孪生服务体系与图书馆孪生大数据等 4 个要素；其主要有实时全要素映射、虚实融合、由实到虚、以虚控实、孪生大数据驱动、软件定义、全域智能管理与智能干预等典型特征。

关键词：数字孪生 数字孪生图书馆 数字孪生城市 未来图书馆 虚实映射
分类号：G122
DOI：10.13266/j.issn.0252-3116.2020.17.007

1 问题的提出

2019 年 11 月科技部组织启动了 6G 技术研发[1]，在 5G 全面建设、6G 提前布局背景下，全息通信、孪生体域网、智慧生产、通感互联网、超能交通等 6G 技术迅速成为工业界与学术界的焦点话题。当前，以大数据、物联网、人工智能、区块链等新技术浪潮引发的第四次工业革命全面展开的情况下，以 6G、人工智能技术为代表的新一代信息技术开始引领未来技术变革与创新驱动的发展方向。在现实物理世界与与未来虚拟世界之间，正形成相互作用、平行发展的两大发展体系。虚拟世界为服务现实世界而存在，现实世界因虚拟世界而变得高效有序，数字孪生理论与技术由此而生，并自 2016 年开始连续 4 年被 Gartner 列入十大战略技术趋势[2]，其应用实践从航空航天、军事领域逐渐拓展至智能制造、智慧城市、知识管理等领域，可能会对未来经济社会发展产生重大影响。

2017 年 4 月我国设立雄安新区[3]、2019 年 1 月国务院印发《河北雄安新区规划纲要》（以下简称《纲要》）[4]，提出“建设绿色智慧新城”“建立完备的公共文化服务体系”[5]，并明确提出同步规划“数字城市与现实城市”，建设“数字孪生城市”[6]。由此，数字孪生城市建设引起了政府、工业界与学术界的广泛关注，但如何规划建设，各方却一头雾水，相应的理论体系、标准规范、技术方法与实现路径亟待明确。图书馆作为数字孪生城市建设的重要组成部分，如何构建相应的数字孪生图书馆（Digital Twin Library，DTL），就成为一个值得探讨的课题。

有鉴于此，本文尝试从理论角度来对数字孪生技术在图书馆中的应用进行分析，对其相关理论模型、内涵特征与应用情境等进行分析，以期为未来图书馆建设与研究提供一定的参考与借鉴。

2 研究设计

2.1 主要研究方法

2.1.1 文献分析法

包含以下 4 个方面：①全面搜集国内外数字孪生、雄安新区的网络信息资源。包括：国务院、科技部、工信委等颁布的相关重要文件；中国政府网、新华网、人民网等重要媒体相关新闻；国外政府发布的相关政策

* 本文系国家社会科学基金青年项目“基于关联数据的南海水下文化遗产文献资源共享和可视化检索研究”（项目编号：17CTQ004）研究成果之一。
作者简介：张兴旺（0000-0001-6145-7205），研究馆员，硕士生导师，E-mail：25894090@qq.com；王璐（0000-0001-9808-2881），副教授，硕士。
收稿日期：2020-02-27 修回日期：2020-04-26 本文起止页码：64-73 本文责任编辑：易飞

文件与新闻。②以“数字孪生”“雄安新区”为中英文关键词分别在 CNKI、Web of Science 中进行篇名检索，经对比、筛选后选择 2017－2019 年相关、有重要参考价值文献进行分析。③深入分析近 10 年国务院、科技部等颁布的《河北雄安新区规划纲要》《新一代人工智能发展规划》《促进大数据发展行动纲要》等 17 份国家战略层面政策文件。④对以上所有文献进行深入分析，为本研究提供理论支撑与数据基础。

2.1.2 案例分析法

包含以下 3 个方面：①对航空航天、军事、智能制造等领域数字孪生应用案例进行分析；②对雄安新区数字城市、虚拟新加坡平台、法国雷恩 3D 城市、多伦多高科技社区等数字孪生城市实践案例进行分析；③对本研究所涉及到的一些重要概念，如数字孪生城市、图书馆等，需采用案例分析法从不同角度对其进行理解和认识。

2.2 研究现状

本文基于 CNKI（限 CSSCI、中文核心）、Web of Science 检索得出数字孪生研究论文 207 篇（中文 59 篇，外文 148 篇），发现相关研究自 2017 年开始呈现飞速增长趋势，如图 1 所示：

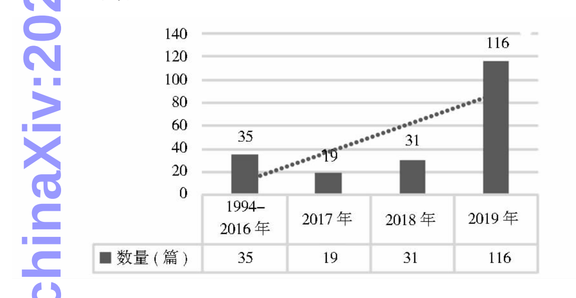


图 1　数字孪生研究论文数量分布

自 2003 年美国学者 M. Grieves 教授首次提出数字孪生概念，2012 年美国宇航局首次将其应用于航空航天领域以来，学术界从全生命周期管理、智能制造、智慧设计等角度对数字孪生概念进行了描述，但因涉及影响因素、物理对象、运行体系的复杂性和多样性，其尚未形成统一定义。美国 NASA[7]、G. Edward 等[8]、M. Grieves 等[9]、庄存波等[10]、陶飞等[11]分别从航空飞行器、产品全生命周期管理、物理实体全要素重建和数字化映射、产品设计虚实融合和交互等视角对该概念进行了定义。但基本达成共识的是，数字孪生是指采用数字化技术方法创建物理实体的数字孪生模型，借助该模型模拟物理实体在现实世界的行为与规则，通过虚实交互映射、数据融合分析、决策迭代优化等方法，为物理实体增加或扩展新的能力[12]。其相关研究主要集中在以下 3 个方面：

（1）在理论模型与体系构建方面，陶飞等提出数字孪生五维模型并探讨了该模型在十大领域中的应用[13]，并提出了数字孪生车间概念与模式[11]。江海凡等从信息流、物料流与控制流角度对数字孪生车间演化机理及运行机制进行了分析[14]。赵浩然等针对数字孪生实时监控问题，提出了一种基于实时信息的三维可视化监控模型[15]。庄存波等对产品数字孪生体的发展背景、技术内涵、体系结构和发展趋势进行了分析[10]。B. Schleich[16]、R. Soderberg[17]、U. Jumyung[18]等分别对产品设计、装配、生产制造等过程数字孪生模型进行了研究。

（2）在信息物理融合方面，K. M. Alam 等提出一种基于云计算的 CPS 数字孪生模型[19]。J. W. Leng 等提出了一种基于大规模个性化范式的 CPS 数字孪生模型[20]。N. Elisa 等对数字孪生技术在基于 CPS 的智能制造系统中的应用进行了分析[21]。陶飞等从物理、模型、数据和服务融合 4 个维度，对数字孪生车间 CPS 的理论体系与关键技术进行了探讨[22]。丁凯等从逻辑关联视角结合数字孪生实现逻辑，提出基于 CPS 的多维多尺度智能制造空间模型[23]。

（3）在数字孪生城市建设方面，周瑜等以雄安新区为例，对其技术背景、构建逻辑、现实要求与概念框架进行了深入分析[24]。J. On-Hyok 以第四次工业革命城市变迁为背景，提出一种数字孪生智慧城市建设方案[25]。李欣等认为信息技术高速发展，使当前社会已经具备构建数字孪生城市的能力[26]。陶飞等认为数字孪生城市的构建，将极大改变城市面貌，重塑城市基础设施，实现城市管理决策协同化和智能化[13]。

综上所示，一方面，数字孪生技术是对现有信息技术的发展与集成，尚无统一定义；另一方面，相关研究主要集中在理论分析、体系构建、应用探讨层面，对其运行机制与应用研究还较为薄弱。此外，数字孪生在智慧城市、知识管理、信息物理融合等领域已得到广泛的应用与实践，必然能为未来图书馆建设与发展提供重要参考和借鉴。

2.3 研究框架

本文基于数字孪生理论与雄安新区数字孪生城市建设思想，结合图书馆未来发展的实际需要，确定以“需求分析→应用分析→对策建议”为研究分析框架，作为数字孪生技术与未来图书馆深度融合发展的分析工具，如图 2 所示：

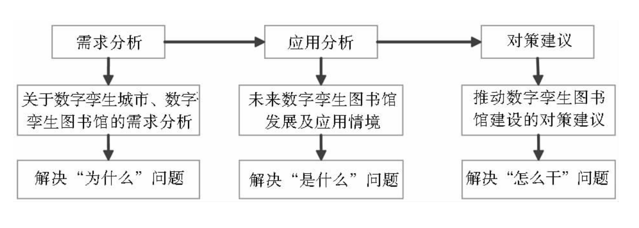


图 2　研究分析框架

3　DTL 的理论分析

3.1　未来数字孪生城市中图书馆建设需求

2018 年 4 月国务院通过《纲要》,2019 年 1 月印发。《纲要》从总体要求、空间布局、城市风貌、生态环境、高端产业、公共服务、交通网络、绿色智慧新城、城市安全、保障措施等 10 个方面对其数字孪生城市建设进行了规划[5],预期 2035 年基本"建成绿色低碳、智能高效、环保宜居且具备优质公共服务的新型城市"[6]。目前雄安新区数字孪生城市建设仍处于规划部署、初步实施阶段,图书馆作为其数字孪生城市建设重要组成部分,预期在 2035 年基本建成,其建设将从零到一、从无到有,在服务内容、服务环境、服务设施、服务技术与建设策略等方面均有严格要求。从《纲要》内容来看,未来数字孪生城市中图书馆建设有别于传统图书馆建设,其主要体现在以下 5 个方面:

3.1.1　公共文化服务

需要提供全面的优质公共文化服务,全方位建设多层次公共文化服务设施,高标准建设图书馆,推进文化产业和公共文化服务的深度融合与高质量发展。建设国际一流公共文化服务、科技教育基础设施与创新服务体系,打造知识溢出效应明显的知识服务区域,全面整合知识服务资源,构建全链条知识服务体系。

3.1.2　服务环境

全面打造生态优美的自然环境、天人合一的空间环境、中西合璧的文化环境、智能高效的城市环境、高端高效的创新环境、高端高新的产业环境、优质舒适的生活环境、安全可靠的网络环境,高标准环境带来高标准需求,从而促使其图书馆规划建设必须完全匹配相应的环境规划设计与高标准服务需求。

3.1.3　服务设施

全面打造全覆盖的数字化标识体系,构建物联网统一开放系统,搭建多源普惠计算设施,实现图书馆数据交换和预警实时推演,打造地上地下全通达、多网协同的泛在网络环境。构建图书馆全域智能化环境,推进智能化、数字化规划建设,建立用户全数字化个人诚信体系。构建大数据信用体系、数据资源开放共享管理体系和全量数据资源目录。

3.1.4　服务技术

依据数字孪生城市重点发展 6G、物联网、大数据、人工智能等信息技术产业,以及搭建国家新一代人工智能创新平台,重点实现图书馆无人系统智能技术突破,依靠其超前布局区块链、太赫兹、认知计算等技术,在图书馆中全面建设与应用,并将其与金融、商务、智慧物流、现代供应链、智慧教育、智慧医疗等现代服务业进行有机融合。

3.1.5　建设策略

实现其从零到一、从无到有的建设规划,坚持图书馆物理实体与数字孪生模型的同步规划、同步建设,提前布局智能基础设施,推动全域智能化应用服务实时可控,建设健全其大数据资源管理体系,打造具有深度学习能力的数字城市与 DTL。使其到 2035 年成为未来图书馆建设与发展的标杆,从而为全世界提供 DTL 建设的中国方案。

3.2　概念模型

根据以上分析,本文认为 DTL 是指在新一代信息技术和服务理念驱动下,构建与图书馆实体完全对应的数字孪生模型,通过图书馆实体及其数字孪生模型的实时双向映射与交互,实现物理实体、数字孪生模型、图书馆服务体系的全业务、全流程、全要素数据资源的融合与交互,在图书馆孪生大数据驱动下,实现服务要素管理、服务过程管控、服务计划执行等在图书馆实体、数字孪生模型、数字孪生服务体系间的迭代优化与运转,从而在满足特定服务需求和规则的前提下,达到图书馆实体管理与服务最优化的一种未来图书馆运行新模式。简而言之,数字孪生图书馆是指构建与图书馆实体完全对应的数字孪生模型的技术、方法和模式。主要包括 4 个部分:图书馆实体、数字孪生模型、数字孪生服务体系与图书馆孪生大数据。其基本概念模型见图 3。

其中,图书馆实体包括物理空间、服务资源、人力资源、服务设施等实体资源以及与之相关的行为、规则与要素等。数字孪生模型主要是指与实体在虚拟信息空间中的完全映射体,其本质是所有实体的数字模型集合。数字孪生服务体系主要是对整个体系的规划设计、执行部署、评估监测等的智能化管控与协调,是各类数据、服务、应用、业务、规则、模块与策略的功能集合。图书馆孪生大数据主要包括实体运行、数字孪生模型运行、数字孪生服务体系运行大数据以及三者融

合产生的大数据等四部分。

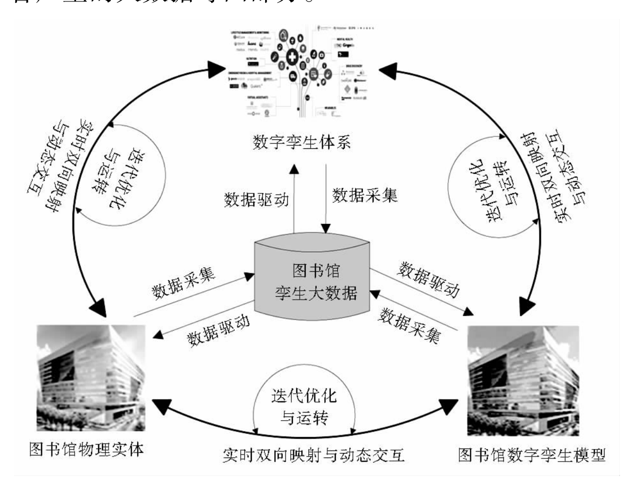


图3　DTL 概念模型

3.3　内涵分析

数字孪生技术因大数据、物联网和人工智能技术而起，因智慧生产、物联感知与智能泛在技术而兴。DTL 是在图书馆数据积累从量变到质变，从信息泛在到智能泛在，在 6G、物联网、人工智能、孪生体域网等信息技术取得重大突破的情况下，建设新型未来智慧图书馆的一种新兴技术手段，是图书馆运行智能化与泛在化、发展可持续化的前沿先进模式，也是一个适应社会与城市创新驱动与高质量发展、吸引高端社会与智力资源全面参与，从局部应用到全局协同，持续迭代优化更新的知识与服务创新体系。同时，也是现实世界的图书馆实体与信息空间的虚拟图书馆的全域感知、虚实融合、共生共存的图书馆未来建设与发展新形态。

其本质是图书馆知识与服务创新数据的闭环赋能体系，采用全覆盖的全域数字化标识、全状态的精准物联感知、实时的数据交互分析、智能的决策分析、高效的精准执行，来实现图书馆态势感知、模拟、监测、预警、溯源、诊断、预测和管控，解决图书馆规划设计、资源建设、运营管理与知识服务等全生命周期管理过程中的不确定性和复杂性问题，从而全面提升图书馆物质资源、空间资源、文献资源、信息资源、智力资源与服务资源配置协同效率和运行状态，真正打造以用户为中心、全时空智能化服务的智慧图书馆。

DTL 是基于全域数字化标识、智能化物联感知、情境化空间通信、泛在化普惠计算、全息化智能管控、实时化创新服务的信息技术体系和数字空间模型，在信息空间中构建一个与物理实体完全映射和匹配的数字孪生模型，全息仿真与模拟、实时监管与诊断、精准预测与分析图书馆实体在现实世界中的运行状况，从而实现图书馆实体与数字孪生模型的实时双向映射、迭代优化更新与自生自治自演化。

3.4　典型特征

DTL 建设需要借助于大数据、人工智能、物联网、区块链等新型信息技术，从数字加工、信息展示、资源互联到智能体验进行全方位、全要素规划设计，实现图书馆实体与数字孪生模型同步规划建设，对所涉及到的人、机、物、环境、行为、规则与过程等所有要素虚拟化、数字化，生成全息 DTL。其主要有 5 个典型特征：

3.4.1　实时全要素映射

DTL 通过对图书馆实体所处的街道、地面、楼栋、空天等外部环境以及物理建筑、空间、门窗、空调、书架、文献、人员、软硬件基础设施、环境布局等内部环境各层面的物联传感设备，连同对管理与服务过程、行为、规则等运行状态的充分感知、动态监测，构建相应的智能感知体系，打造地上地下、内外一体、软硬融合的泛在孪生体域网、全域智能化服务环境与全时空服务体系，形成在虚拟空间中对图书馆实体的实时精准映射。

3.4.2　虚实融合，由实到虚，以虚控实

DTL 虚实融合主要体现在两个方面：①由实到虚。数字孪生模型通过大数据、虚拟/增强/混合现实、模拟仿真等技术对实体的要素、规则、行为、过程等元素的精准刻画与映射，二者完全对应、共生共长共演化。②以虚控实。实体所有数据都会实时传递给数字孪生模型，后者会根据实时数据对实体运行状况进行深度分析与优化，并根据优化策略对实体进行实时调控。

3.4.3　图书馆孪生大数据驱动

图书馆依据基础设施、服务资源、空间、文化、环境、人员等在运行过程中遗留的数据痕迹、DTL 的模拟仿真过程及其智能传感体系的服务数据等汇聚成 DTL 大数据，驱动着其发展与运行。

3.4.4　软件定义

针对相应的数字孪生服务体系，以应用软件方式模拟仿真图书馆人、机、物、规则等要素在环境中的行为与活动，通过智能传感体系、孪生体域网和边缘计算，对图书馆实体的物理设施运转、能源调度、服务全生命周期管理、空间环境等进行全局实时分析，实现公共服务资源的智能化配置。

3.4.5　全域智能管理与智能干预

通过顶层规划设计、模拟仿真等，推进图书馆智能化、数字化规划建设，对相应资源流、信息流、数据流和

服务流等进行全域智能管控与精准监测，通过其数字孪生服务体系的安全态势智能感知、预警、溯源、监测体系，将可能存在的安全预警、不良信息、突出问题或潜在危险等进行智能预警，及时提供最优化、最科学的解决方案，并以未来图书馆发展视角来实时智能干预，进而对其规划设计、管理服务、资源调配、服务供给等进行实时优化与引导。

4　DTL 技术框架与应用情境分析

4.1　应用价值

DTL 的关键价值，在于通过构建智能物联的数据闭环赋能服务体系[27]，构建相应的全域虚拟映射数字模型，并采用虚拟仿真、虚实交互、积木式解析与智能耦合等方式，构建软件定义图书馆、孪生大数据驱动决策优化、虚实融合交互的图书馆数字孪生模型，从而使图书馆运行、管理与服务由实到虚，在虚拟信息空间中模拟仿真、智能演化、实时操控、以虚控实，对图书馆实体中运行要素进行优化协调。

在规划建设方面，对于雄安新区图书馆这一类零起点的图书馆，坚持 DTL 与图书馆实体同步规划、同步建设，超前布局智能基础设施与全域智能化环境，从规划设计阶段就开始建模、获取数据，运行阶段则全面依托数字孪生模型与全量数据对其进行运营管理。对已建成运营的图书馆，需全面部署智能感知网络，打造全域全覆盖的数字化标识体系，完善全域智能化环境，对图书馆实体进行全要素、全流程、全业务数字化模拟仿真后，建立数据孪生模型后，也可构建 DTL。

在运营管理方面，图书馆实体与数字孪生模型之间虚实融合、共生共长，通过智能感知体系、协同泛在网络与数字化模拟仿真实现由实入虚，再通过智能管控、实时决策与精准预测实现以虚控实，进而实现对图书馆实体的优化管理与服务。执行优化策略后的实体再通过智能感知和泛在网络由实入虚，数字孪生模型仿真决策后再次以虚控实，如此虚实迭代、持续优化多次后，逐渐形成具备深度学习、自我优化的内生驱动能力，全面提升图书馆管理与服务能力。

4.2　技术框架

从技术视角来看，DTL 覆盖了“人 – 机 – 物 – 环境”四元要素，依托“云 – 网 – 端”三大层次数字孪生服务体系，“云”通过构建云计算、边缘计算等多元普惠计算体系，以全覆盖、多尺度、全时空、智能化、全要素地实现图书馆的智能决策、精准预测与实施操控；“网”通过构建的地上地下全通达、内部外部全覆盖、多网协同的泛在智能传感网络，提供实时的双向数据传递，构建全域化智能环境，奠定智能传感网络体系；“端”通过搭建图书馆全域感知体系，打造全覆盖的数字化标识体系，全面刻画和映射图书馆全要素运行体征状态。由此得出其相应的技术框架如图 4 所示：

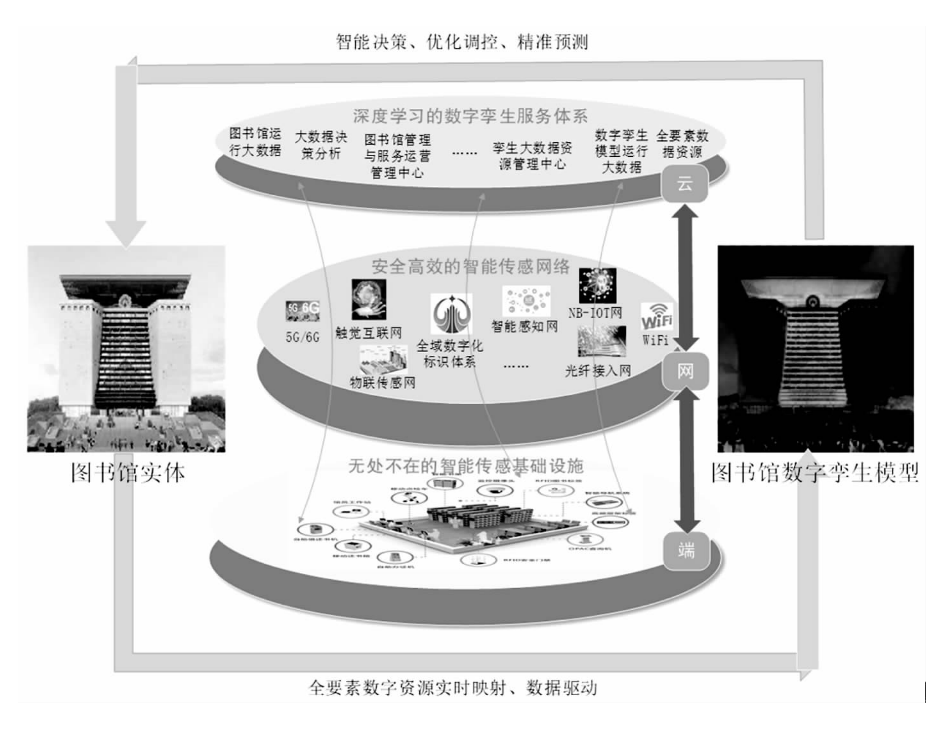


图 4　DTL 技术框架

4.3 运行机理

与数字孪生城市、数字孪生车间构建模式相似，DTL是在特定范围、特定情境下，全面整合全域智能感知、历史运行、智能监测等多源异构大数据，融合多学科、多领域、多尺度、多概率、多物理量的模拟仿真过程，融合智慧协调、精准监测、智能决策、普惠精准、定制服务、全时空智能服务等智慧应用，共同构建与图书馆实体共生共长共治、虚实融合的复杂生态系统。

以全覆盖的全域数字化标识体系和统一开放的智能物联感知体系为基础，以全域全要素的服务资源、安全高速的泛在无线网络、高性能的协同认知计算能力与深度学习的智能服务平台为信息中枢，以图书馆数字孪生模型为其信息集成展示载体，智能管控图书馆实体的建设、发展、管理与服务等各系统协同运行，形成一套自我学习、自主优化的运行模式，从而实现“全域智能感知、实时双向映射、万物互联互信、泛在认知协同、数据驱动决策”。由此得出其技术框架的基本运行机理如图5所示：

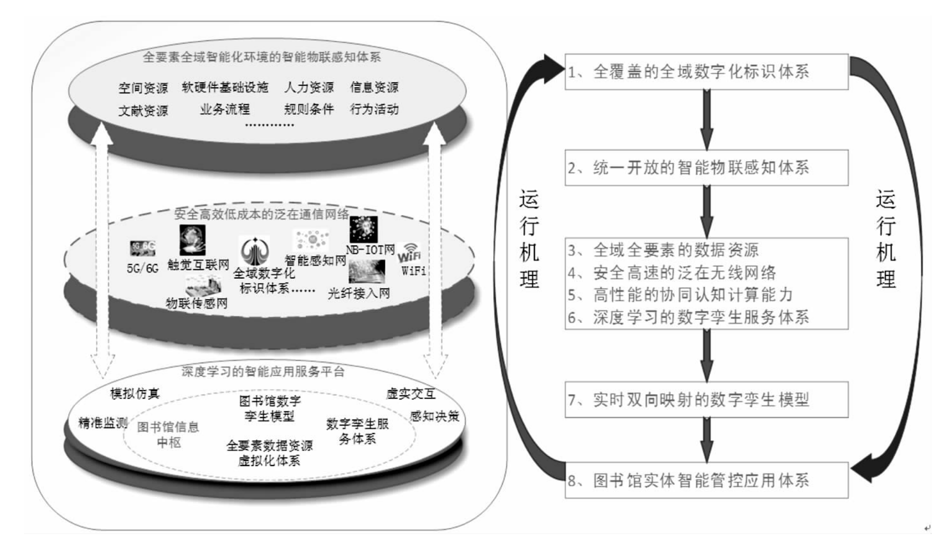


图5 DTL运行机理

其中，全域数字化标识是其智能物联感知的基础与前提，是虚拟信息空间中用于区分图书馆实体要素身份的唯一身份标识符。智能物联感知体系是在相关实体之间实现“人－机－物－环境”互联互通、智能感知的接口与通道，是实现图书馆物理实体向其数字孪生模型映射的“神经系统”与“连接器”。全域全要素数据资源是其构建基础，为其深度学习、智能协同、自由优化提供了人工智能体系所需的数据支撑。泛在无线网络是其构建的网络环境保障，其实时数据传输、交互、融合的泛在智能网络环境。协同认知计算能力是其能力与效率保障，为其自生、自长、自演化、自优化提供了人工智能体系所需的计算能力支撑。数字孪生服务体系是其构建的实时决策与智慧服务保障，为其提供算法与策略支撑。数字孪生模型是可视化呈现全域智能物联感知设施、图书馆运行状况、决策执行状态、全域全要素数据资源等，并对实体运行状态进行智能管控和决策优化。智能管控应用体系是DTL的“总控室”与“指挥间”，全面集成和融合了图书馆的资源、空间、安全、能源、人流、物流、信息流、管理、服务等相关业务的运行状态，是集资源建设、安全监测、资源管理、人员管理、服务管理、数据管理、过程溯源、信息发布与展示等业务于一体的总指挥中心。

4.4 应用情境

雄安新区以数字孪生城市为未来建设发展目标、新加坡政府与达索合作构建数字孪生城市[28]、阿里云研究中心发布《城市大脑：探索“数字孪生城市”》白皮书等意味着数字孪生技术已经成为未来社会发展、城市智能化升级的重要趋势。DTL作为未来图书馆建设发展的新模式、新理念和新方法，理应受到图书馆领域的关注与重视。

4.4.1 “规建管运”一体化协同管控情境

DTL模式下，加载全域全要素的虚拟数字模型成为其最重要的数据支撑和基础设施，其最典型的应用情境就是“规建管运”全生命周期的一体化协同管控，实现其规划设计模拟仿真、资源建设过程智能管控、管理服务资源智能协调、运营管理精准预测优化，从而全面提升图书馆规划、建设、管理、运行的一体化协同管控水平。

在规划设计阶段，基于虚拟数字模型摸清图书馆家底、掌握其运行规律，通过模拟仿真和预测推演，高

效、快捷、科学地推进其顶层规划设计。通过智能物联感知体系获取其相关空间、人员、资源、设施、管理与服务等全域全要素数据资源,在数字孪生模型中进行融合分析,构建相应的规划建设方案,在保证其科学性和有效性基础上,进一步模拟仿真与可视化展示,对规划方案进行功能模拟、性能优化与数字化交付,提升规划设计质量与效率。在运营管理阶段,基于虚拟数字模型、全域数字标识体系、智能感知体系与相应智能基础设施,实现对图书馆基础设施、服务资源、空间资源、能源系统、内外环境、业务管理、服务流程等运行状况的实时监管和可视化展示,进而实现实时交互与决策优化。同时,基于该体系还可以定性和定量方式,模拟仿真图书馆管理与服务情境、用户流与信息流演化趋势、内外环境演化等情境,使得管理者与决策者可实时观看图书馆运营管理状况,了解其提升效果,评估其建设效益。

4.4.2 虚实融合、以虚控实的智能运营情境

DTL 可实时展示图书馆运营管理全貌,助其构建智慧信息管理中枢,立足智能感知、监测、管理、分析、决策与优化等领域,建立现实世界与虚拟空间的数据映射和可视化数字展示体系,实现跨领域、跨资源、跨层级、跨机构、跨业务的图书馆智能协同运营,形成高效便捷、普惠精准、智能处置、主动发现、实时在线的智能运营管理模式。在服务资源优化协调方面,可实时全景全要素展示图书馆用户分布与需求状况、文献资源管理与使用情况、设施资源分布、管理与使用情况、能源(水、电、空调等)消耗状况、安全管理状况等,根据其实时计算结果,智能决策其资源协调与优化策略。在异常状况智能管控方面,通过全域全要素智能感知体系,实时分析、预测和展示(能源环境、服务资源、用户需求、网络安全、突发事件、知识演化与管理服务优化等),对异常、突发状况进行智能管控,并通过深度学习和实时分析,进行资源优化协调。在智能基础设施动态管控方面,任何进入 DTL 的人、物、资源与信息,采用区块链、物联网等技术使其被智能感知、记录和标识,保证其轨迹不可逆、回溯可查、发展趋势可预测。所有组成部件、建筑、图书、书架、桌椅板凳、计算机、垃圾桶、水龙头、花草树木和人员等均有唯一数字标识身份,其运行状况均被实时智能监控和集中动态管理。

4.4.3 情景交融、以人为中心的主动服务情境

DTL 将智能采集全要素资源的运行轨迹数据,预测分析运营、管理与服务运行规律,在数字孪生模型中,预测信息资源结构和知识服务需求变化规律、预测其未来知识服务动向、评估运营管理服务影响等,以智能物联感知、虚拟人机交互、智能服务推荐等方式,实现普惠精准、个性化定制服务的实时精确响应,形成具有较强创新性和智慧性的数字孪生服务体系。

在全生命周期智慧服务方面,集成了一系列智能物联感知设备采集运营管理、用户行为等数据,将用户知识服务需求、图书馆运营管理与全域全要素进行有效关联,在数字孪生服务体系中对知识服务全生命周期管理过程进行模拟仿真,并利用人工智能技术预测分析其运行轨迹和发展规律。在用户知识服务需求分析方面,每个用户的行为轨迹、服务需求都会被精准映射,形成用户个体的大数据集,通过数据挖掘与实时分析,计算得出其个性化知识服务需求。图书馆就可充分了解所有用户个体的个性化需求,为其提供个性化服务。在普惠精准定制服务方面,不仅实体运行虚实融合并存,知识服务过程也可实现虚实融合。所有用户均可根据实际需要,提出对服务内容、形式、时间等的个性化需求,图书馆根据其需求进行资源整合、服务虚拟设计与匹配,实现服务的普惠精准、定制化和个性化。

5 推进 DTL 建设的对策建议

目前数字孪生技术在智慧城市建设领域还处于起步阶段,在智慧图书馆建设领域还没出现。雄安新区数字孪生城市建设,为数字孪生技术在未来图书馆中的应用研究提供了重要参考和借鉴。

5.1 做好顶层设计,分层次解决问题

DTL 顶层设计是指导其规划设计、建设发展、运营管理与应用实践的指引体系,需要从其建设愿景、战略目标、行动纲领、基本原则、建设规划、建设方案、实施策略及评价体系等方面[29]来对其进行顶层规划设计。

作为一个复杂生态系统,DTL 缺乏系统的基础理论与应用实践研究,其建设几乎融合了当前所有信息技术,这种前所未有的技术集成创新与全面挑战机遇,不仅要精准识别和理解图书馆运营管理规律,还需要对其进行全域全要素的模拟仿真、智能感知、决策分析、预测优化和优化管控。第一层次是模拟仿真,即构建实体对象的虚拟数字模型。鉴于图书馆的运营复杂性与要素多样性,其全域全要素的数字化、虚拟化模拟仿真技术、规则与标准还不够完善,需深入研究。第二层次是智能感知,即在数字孪生模型中实时映射物理实体的变化,需其智能感知体系来获取和感知实体要素数据,其相应的数字标识、编码、寻址、标准与安全等

张兴旺，王璐. 数字孪生技术及其在图书馆中的应用研究——以雄安新区图书馆建设为例[J]. 图书情报工作,2020,64(17):64－73.

问题还需要进一步研究。第三层次是决策分析，即在其运营管理过程中，必然会面临着诸多异常、突发情况，如何采用人工智能技术对其进行处理与分析，还需深入探索。第四层次是预测优化，即根据已有孪生大数据预测图书馆运营管理、用户知识服务需求、安全管理风险等，这就对多种技术融合集约提出了更高要求。第五层次是优化管控，即通过构建的全域智能化软硬件环境，对图书馆运营管理进行优化管控。

5.2 加强基础建设，分领域逐步建设

从 DTL 技术特征与运行机理来看，其在智能感知体系构建、实体虚拟化模型构建、虚实实时双向映射、多维智能决策体系构建[30]等方面将发挥更大影响。同时结合其实际，按照局部试验、试点研究、示范推广、逐步建设的思路，DTL 建设可优先考虑以下 4 个方面：①开展智能规划建设。通过数字孪生模型三维可视化展示其空间环境布局、环境温度湿度变化、文献使用变化、资源使用变化等，为图书馆运营管理提供决策依据；通过模拟仿真、动态评估、深度学习图书馆规划建设对未来建设与发展造成的影响，从而保证其有序建设。②开展智能建筑建设。推进图书馆“规建管运”一体化建设，赋予图书馆建筑空间“一砖一瓦”“一器一物”“一花一草”以数据特征，与实体同步规划、同步建设，建成后数字孪生模型可全方位实时呈现其建筑内容，打造全域全要素的数字化标识体系，实现虚实实时双向映射。③推进智能物流体系建设。通过数字孪生模型对图书馆人流、资源流、要素流、信息流等实时监控和深度分析，采用人工智能、大数据等技术预测其变化规律，有效实现其资源智能协调优化。④开展智能能源体系建设。通过数字孪生模型可对图书馆的水、电、空调、卫生等能源环境进行智能管理优化。

5.3 统筹落实建设，分阶段有序推进

整体来看，DTL 建设需要加强理论体系、关键技术与应用实践研究，需整合多学科、多领域、多机构等研究主体开展联合攻关，聚焦 DTL 中的重点、难点与共性技术问题，统筹理论研究、技术攻关和应用示范等研究任务。

从图书馆层面来看，DTL 建设是一个长期过程，需全面统筹，分阶段、分步骤有序推进：①智能基础设施建设。与图书馆基础设施同步建设智能物联感知体系，打造覆盖全域全范围的数字化标识体系，构建能精准实时感知和映射的智能基础设施。②构建数字孪生模型。利用三维数字建模、虚拟/增强/混合显示等技术，构建完全映射的数字孪生模型，实现其虚实融合、由虚到实、以虚控实的“规建管运”一体化。③全域应用体系构建。通过对图书馆运营管理状况的智能物联感知，在信息空间维度上实现对图书馆实体的精准信息表达和实时映射，通过软件实现图书馆赋能，进而逐渐延伸到所有业务领域，推进其运行与服务模式向情景交融、虚实融合、智慧化、个性化方向转变。

5.4 结合实际情况，分类型分别建设

5.4.1 图书馆新馆的建设思路

坚持同步规划、同步建设、同步部署“人－机－物－环境”一体的智能物联感知设施与多网协同的泛在无线网络，接着充分利用云计算、大数据、人工智能等信息技术构建相应的数字孪生模型，实现其数字化建模，实现其规划、建设、运营、管理与服务的全要素、全过程、全方位的数字化、智能化与虚拟化，再根据图书馆特征与发展需求，分阶段有序推进建设。

5.4.2 已有图书馆的建设思路

在已有物联网、互联网、软硬件基础设施和知识服务平台等基础上，协调解决信息孤岛、软硬件服务设施兼容性与业务协作等难题，先进一步优化与完善智能物联感知设施与服务体系[31]，再以信息共享与互联互通为重点，构建统一的虚实融合数字孪生模型，推进全域资源整合和开放共享，打破原有信息壁垒和平台互斥现状，实现“规建管运”一体化，然后逐步延伸数字孪生服务，实现对图书馆运营管理的全面智能感知、智能监测与动态监管。

6 结语

数字孪生技术作为当前云计算、大数据、物联网与人工智能等新型信息技术的延伸与拓展，被广泛应用于航空航天、智能制造、智慧城市等领域，受到了政府、工业界和学术界的广泛关注。它连续 4 年被列入十大战略技术趋势，但始终处于理论研究阶段，如何使其从理论走向应用实践，是数字孪生技术下一阶段研究与发展的重点。雄安新区作为一项国家重大历史性战略选择，千年大计、国家大事，其数字孪生城市建设（尤其是 DTL 建设）为未来图书馆建设与发展提供了一种重要思路与模式。针对这一重要科学问题和应用实践需求，本文在对数字孪生技术研究现状进行分析基础上，以雄安新区数字孪生城市建设为案例进行了分析和探讨，提出 DTL 概念，并对其内涵特征与应用情境进行了分析。以期为下一代图书馆发展与研究提供一定参考借鉴。

参考文献:

[1] 科技部. 我国正式启动第六代移动通信技术研发工作[EB/OL]. [2020-02-28]. http://www.most.gov.cn/kjbgz/201911/t20191106_149813.htm.

[2] Gartner. Top 10 strategic technology trends for 2019[EB/OL]. [2020-02-28]. https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2019/.

[3] 中国政府网. 中共中央、国务院决定设立河北雄安新区[EB/OL]. [2020-02-28]. http://www.gov.cn/xinwen/2017-04/01/content_5182891.htm#1.

[4] 中国政府网. 国务院关于河北雄安新区总体规划(2018-2035 年)的批复[EB/OL]. [2020-02-28]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2019-01/02/content_5354222.htm.

[5] 中国雄安网. 河北雄安新区规划纲要[EB/OL]. [2020-02-28]. http://www.xiongan.gov.cn/2018-04/21/c_129855813.htm.

[6] 中国雄安网. 从规划亮点看雄安"未来之城"——解读《河北雄安新区规划纲要》之一[EB/OL]. [2020-02-28]. http://www.xiongan.gov.cn/2018-04/21/c_129855990.htm.

[7] TUEGEL E J, INGRAFFEA A R, EASON T G, et al. Reengineering aircraft structural life prediction using a digital twin[J]. International journal of aerospace engineering, 2011(10):1-14.

[8] EDWARD G, DAVID S. The digital twin paradigm for future NASA and U.S. air force vehicles[C]//The 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC structures, structural dynamics and materials conference - special session on the digital twin. Honolulu: AIAA, 2012.

[9] GRIEVES M, VICKERS J. Digital twin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems[J]. Transdisciplinary perspectives on complex systems, 2017(7):85-113.

[10] 庄存波, 刘检华, 熊辉, 等. 产品数字孪生体的内涵、体系结构及其发展趋势[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(4): 753-768.

[11] 陶飞, 张萌, 程江峰, 等. 数字孪生车间——一种未来车间运行新模式[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(1):1-9.

[12] 陶飞, 刘蔚然, 刘检华, 等. 数字孪生及其应用探索[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(1):1-18.

[13] 陶飞, 刘蔚然, 张萌, 等. 数字孪生五维模型及十大领域应用[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(1):1-18.

[14] 江海凡, 丁国富, 张剑. 数字孪生车间演化机理及运行机制研究[J/OL]. 中国机械工程:1-10. [2020-04-25]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1294.TH.20191012.1722.004.html.

[15] 赵浩然, 刘检华, 熊辉, 等. 面向数字孪生车间的三维可视化实时监控方法[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(6): 1432-1443.

[16] SCHLEICH B, ANWER N, MATHIEU L, et al. Shaping the digital twin for design and production engineering[J]. CIRP annals, 2017, 66(1):141-144.

[17] SODERBERG R, WARMEFJORD K, CARLSON J S, et al. Toward a digital twin for real-time geometry assurance in individualized production[J]. CIRP annals, 2017, 66(1):137-140.

[18] JUMYUNG U, WEYER S, QUINT F. Plug-and-Simulate within modular assembly line enabled by digital twins and the use of automationML[J]. IFAC Papersonline, 2017, 50(1): 15904-15909.

[19] ALAM K M, SADDIK A E. C2PS: A digital twin architecture reference model for the cloud-based cyber-physical systems[J]. IEEE access, 2017, 5(1):2050-2062.

[20] LENG J W, ZHANG H, YAN D X, et al. Digital twin-driven manufacturing cyber-physical system for parallel controlling of smart workshop[J]. Journal of ambient intelligence and humanized computing, 2018, 1(6):1-12.

[21] ELISA N, LUCA F, MARCO M. A review of the roles of digital twin in CPS-based production systems[J]. Procedia manufacturing, 2017(11):939-948.

[22] 陶飞, 程颖, 程江峰, 等. 数字孪生车间信息物理融合理论与技术[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(8): 1603-1611.

[23] 丁凯, 张旭东, 周光辉, 等. 基于数字孪生的多维多尺度智能制造空间及其建模方法[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(6): 1491-1504.

[24] 周瑜, 刘春成. 雄安新区建设数字孪生城市的逻辑与创新[J]. 城市发展研究, 2018, 25(10):60-67.

[25] ON-HYOK J. Urban changes in the fourth industrial revolution era and digital twin based smart city planning model[J]. Journal of urban policies, 2018, 9(3):89-108.

[26] 李欣, 刘秀, 万欣欣. 数字孪生应用及安全发展综述[J]. 系统仿真学报, 2019, 31(3):385-392.

[27] 张兴旺, 石宏佳, 王璐. 孪生图书馆:6G 时代一种未来图书馆运行新模式[J]. 图书与情报, 2020(1):96-102.

[28] INGERBORG R. Virtual singapore and the economy of the digital twin[EB/OL]. [2020-02-28]. https://blogs.3ds.com/perspectives/virtual-singapore-and-the-economy-of-the-digital-twin/.

[29] 张兴旺, 李晨晖. "互联网+图书馆"顶层设计相关问题研究[J]. 图书与情报, 2015(5):33-40.

[30] 杨九龙, 阳玉堃, 许碧涵. 人工智能在图书馆应用的理论逻辑、现实困境与路径展望[J]. 图书情报工作, 2019, 63(4):32-38.

[31] 解金兰, 常琛. 智慧图书馆数据服务的功能设计与实施方案[J]. 图书情报工作, 2019, 63(7):56-62.

作者贡献说明:

张兴旺:论文框架设计及论文撰写;
王璐:论文修改及对策建议分析。

张兴旺，王璐. 数字孪生技术及其在图书馆中的应用研究——以雄安新区图书馆建设为例[J]. 图书情报工作,2020,64(17):64 – 73.

Digital Twin Technology and Its Application in Library
——Taking the Library Construction of Xiong' an New Area as an Example

Zhang Xingwang　Wang Lu
College of Tourism & Landscape Architecture, GuiLin University of Technology, Guilin 541004

Abstract: [**Purpose/significance**] Digital twins help to promote the deep integration of physical information in libraries, and realize the "virtual reality mapping, virtual reality control, and coordinated interaction" between their physical entities and digital twin models. [**Method/process**] Based on the analysis of the current situation of digital twin research, this paper put forward the concept and model of digital twin library, analyzed its theoretical connotation and typical characteristics, and put forward the corresponding technical framework, operation mechanism and countermeasures and suggestions combined with its technical characteristics and application situation, in order to provide reference for the future library construction and development. [**Result/conclusion**] The digital twin library mainly includes 4 main elements: library physical entity, digital twin model, digital twin service system and library twin big data. It mainly includes real-time full element mapping, the virtual and the real merge, from real to virtual, virtual control of real, twin big data driven, software definition, global intelligent management and intelligent intervention.

Keywords: digital twin　digital twin library　digital twin city　future library　virtual reality mapping

关于对《网络信息资源保存——基于多元层次描述的构建方法探析》一文涉嫌抄袭的处理意见

我刊(《图书情报工作》)于 2010 年第 54 卷第 21 期刊发的王畅作者的《网络信息资源保存——基于多元层次描述的构建方法探析》一文(以下简称该文),经读者举报,内容与王丽蕉于 2007 年在《教育资料与图书馆学》(台湾地区出版期刊)第 44 卷第 4 期刊发的《网络资源长期保存:以多元层次描述模式建构之探讨》一文有大量重合,经比对分析,确认为抄袭。

该文作者王畅承认存在抄袭行为,严重侵犯了原作者的著作权,影响了我刊的声誉,也对读者造成了不良的影响。该作者请求我刊撤稿,并发来《道歉书》,承诺今后绝不再出现此类行为。

根据《<图书情报工作>杂志社出版伦理声明》《<图书情报工作>关于进一步加强对学术不端惩戒的公告》等相关规定,我刊特作出以下处理决定:

(1)全网撤稿。即日从《图书情报工作》官网和中国知网撤稿;

(2)在我刊最新一期、期刊网站和公众号公开发布处理意见;

(3)鉴于该作者缺乏科研诚信,5 年内我刊不接受该作者投稿。

《图书情报工作》杂志社